بررسی تأثیر جهت و موقعیت شیب بر برخی شاخص‌های میکروبی خاک در زمین‌های مرتعی و جنگلی

علی اشرف سلطانی‌طولارود*: *دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل*
شکراله اصغری: *دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل*

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۸)

چکیده

مطالعه‌ی شاخص‌های کیفیت خاک در کاربری‌های متفاوت و بر روی بخش‌های مختلف زمین‌های شیب‌دار و انتخاب و به‌کارگیری شاخص‌های مناسب، امکان مدیریت و استفاده‌ی بهینه از خاک را میسر می‌سازد. به‌منظور بررسی تأثیر جهت و موقعیت شیب بر شاخص‌های میکروبی خاک در زمین‌های مرتعی و جنگلی،یک مطالعه به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه فاکتور کاربری اراضی در دو سطح (مرتع و جنگل)، جهت شیب در دو سطح (شمالی و جنوبی) و موقعیت شیب در سه سطح (شانه، پا و پنجه شیب) و با چهار تکرار در گردنه‌ی حیران، از توابع شهرستان آستارا در استان گیلان به اجرا درآمد. برای انجام این مطالعه، تعداد ۴۸ نمونه خاک دست خورده از زمین‌های مرتعی و جنگلی از دو جهت شمالی و جنوبی شیب و در سه موقعیت شانه، پا و پنجه شیب تهیه و جمعیت میکروارگانیسم‌ها، تنفس میکروبی پایه و تنفس ناشی از بستره، کربن زیتوده میکروبی و سهم میکروبی در آنها اندازه‌گیری شد. یافته‌ها نشان داد که مقدار تمام پارامترهای زیستی اندازه‌گیری شده در خاکِ با کاربری جنگل، به‌طور معنی‌داری بیش از خاک با کاربری مرتع بود. در هر دو کاربری و در تمام موقعیت‌های شیب، بیشترین مقدار تنفس میکروبی پایه و تنفس ناشی از بستره، جمعیت میکروارگانیسم‌ها و کربن زیتوده میکروبی در شیب جهت شمالی اندازه‌گیری شد. در کاربری‌ها و جهت‌های شیب مورد بررسی، تمام شاخص‌های زیستی به جزء سهم میکروبی در موقعیت شانه شیب بالاترین مقدار را داشتند. بیشترین مقدار سهم میکروبی ($1/95 mgC_{mic}.g^{-1}C_{org}$) به شانه شیب در جهت شمالی بازمی‌گشت که با مقدار این شاخص در موقعیت‌های پا و پنجه شیب واقع در جهت شمالی، همچنین شانه و پنجه شیب در جهت جنوبی اختلاف معنی‌داری نداشت. همبستگی بین تمام شاخص‌های زیستی در سطح احتمال یک درصد، خطی مثبت و معنی‌دار بود. بالاترین همبستگی بین تنفس میکروبی پایه و تنفس ناشی از بستره ($r=./94^{**}$) و همچنین کربن زیتوده میکروبی و تنفس ناشی از بستره ($r=./89^{**}$) مشاهده شد.

واژگان کلیدی: پارامترهای زیستی، تنفس میکروبی، جمعیت میکروبی، سهم میکروبی، کربن زیتوده میکروبی، کیفیت خاک، گردنه‌ی حیران.

*نویسنده مسئول: ali_soltani_t@yahoo.com

۱ـ مقدمه

خاک به‌عنوان یکی از اجزای مهم محیط زیست، در صورتی که کیفیت آن حفظ شود و بهبود یابد، می‌تواند نقش مهمی در اکوسیستم‌های طبیعی و دست‌ساز بشر ایفا کند. کیفیت خاک و توانایی و ظرفیت آن در انجام دادن وظایف خود، یکی از اجزای محیط‌زیست است که سبب می‌شود تولیدات موجودات زنده پایدار بماند، کیفیت آب و هوا حفظ و سلامت انسان حفاظت شود (Bunemann et al, 2018 & Lemenih et al, 2005). تعیین توانایی عملکرد خاک می‌تواند با اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی صورت گیرد که از آنها به‌عنوان شاخص‌های کیفیت خاک یاد می‌شود (Shukla et al, 2006). شاخص کیفیت خاک، ویژگی قابل اندازه‌گیری خاک است که ظرفیت آن را در ایفای یک نقش تعیین‌شده تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. ویژگی‌هایی از خاک که به تغییرات ایجاد شده در آن، در نتیجه تغییر مدیریت و کاربری اراضی در مدت کوتاهی عکس‌العمل نشان می‌دهند، به‌عنوان شاخص‌های مطلوب کیفیت خاک در نظر گرفته می‌شوند (Carter et al, 1998). مطالعه‌ی پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که خصوصیات زیستی خاک در مقایسه با دیگر ویژگی‌های آن، به تغییرات ایجاد شده در خاک حساس‌تر است و سریع‌تر به این تغییرات پاسخ نشان می‌دهد؛ از این رو، می‌توان از این پارامترها به‌عنوان شاخص‌های اولیه‌ی نشان‌دهنده‌ی تغییرات در خاک، در ارزیابی کیفیت خاک استفاده کرد (Geisseler and Horwath, 2009).

تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک، به‌طور قابل‌توجهی تحت‌تأثیر عوامل مؤثر در تشکیل خاک قرار می‌گیرد؛ از قبیل مواد مادری، اقلیم، پوشش گیاهی، فعالیت‌های انسانی و توپوگرافی (Ollinger et al, 2002). توپوگرافی با تأثیر بر توزیع مکانی پارامترهای مؤثر محیطی، می‌تواند ویژگی‌های متفاوتی را در خاک ایجاد کند. چندین مطالعه نشان داده است که موقعیت شیب بر ویژگی‌های خاک تأثیر می‌گذارد (Alemayehu, 2007 & Yimer et al, 2008). این متغیر توپوگرافی با تأثیر بر میزان نفوذ آب در خاک، حرکت و تجمع محلول خاک و رسوب مواد و دما، به ایجاد تغییرات در خواص خاک منجر می‌شود (Tsui et al, 2004 & Moges and Holden, 2008). پژوهشگران زیادی گزارش داده‌اند که تغییر در مقدار کربن آلی، رطوبت، pH، نیتروژن کل، حاصلخیزی و شاخص‌های میکروبی خاک، تحت‌تأثیر موقعیت شیب صورت می‌گیرد (Smith et al, 2002 & Khormali et al, 2009 & Reza et al, 2011). جهت شیب به‌عنوان یکی از فاکتورهای مهم توپوگرافی، با تأثیر بر میزان دریافت تشعشعات خورشیدی بر مقدار دمای خاک، میزان تبخیر و محتوی رطوبت خاک مؤثر است (Carletti et al, 2009 & Dearborn and Danby, 2017). در نیمکره‌ی شمالی، شیب‌های جنوبی که تشعشعات بیشتری دریافت می‌کنند، گرم و خشک و در معرض تغییرات فصلی سریع هستند و بالعکس، شیب‌های شمالی تشعشعات کمتری دریافت می‌کنند و خنک و مرطوب هستند و تغییرات فصلی در آنها کم است (Sariyildiz et al, 2005). محققان مختلفی اثر جهت شیب را بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی (از قبیل pH، میزان ماده آلی، جرم مخصوص ظاهری و بافت خاک)، محتوی عناصر غذایی (کربن، نیتروژن و فسفر) و شاخص‌های میکروبی (مانند زیتوده میکروبی و فعالیت‌های آنزیمی) مطالعه کرده‌اند (Ai et al, 2017a & Ascher et al, 2012 & Gilliam et al, 2014 & Huang et al, 2015 & Sidari et al, 2008 & Qin et al, 2016 & Bardelli et al, 2017 & Liu et al, 2017).

مطالعه‌ی پژوهش‌های محققان نشان می‌دهد که یکی دیگر از عوامل مؤثر بر ویژگی‌های خاک، کاربری اراضی است. در پژوهشی Nabiollahi و همکاران (۲۰۱۸)، تغییر کاربری اراضی را بر شاخص‌های کیفیت خاک بررسی

کردند. این محققان گزارش کردند که خواص خاک شامل pH، هدایت الکتریکی، کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، مواد خنثی‌شونده، فرسایش‌پذیری خاک، جرم مخصوص ظاهری، تخلخل کل و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در اراضی مرتعی بیش از اراضی زراعی است. Amirinejad و Ghotbi (۲۰۱۸) در یک تحقیق نشان دادند که تغییر کاربری مناطق جنگلی به اراضی کشاورزی، به کاهش شدید درصد ماده آلی خاک و افزایش درصد شن، سیلت و جرم مخصوص ظاهری خاک منجر شد. Tatanah Nanganoa و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی اثر کاربری‌های مختلف را بر شاخص‌های فیزیکی، شیمیایی و فراوانی ماکروفون خاک مطالعه کردند. نتایج پژوهش این محققان نشان داد که نوع کاربری زمین، بر شاخص‌های مذکور اثر معنی‌داری داشت و بیشترین مقدار ماده آلی و فراوان‌ترین تعداد ماکروفون خاک در کاربری جنگل اندازه‌گیری شد. در پژوهشی دیگر، Haghighi و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که تغییر کاربری از مرتع به زراعی، به کاهش معنی‌دار میزان ماده آلی خاک و افزایش قابل‌توجه جرم مخصوص ظاهری خاک منجر شد. Maleki و همکاران (۲۰۱۳) نیز طی مطالعه‌ای نشان دادند که نوع کاربری اراضی می‌تواند بر تنفس میکروبی خاک تأثیر بگذارد. در پژوهش این محققان، مقدار شاخص زیستی مزبور در زمین‌های تحت کشت پنبه و آیش بیش از زمین‌های شخم‌خورده بود.

گردنه‌ی حیران، منطقه‌ای است در روستای حیران از توابع شهرستان آستارا که در مسیر راه ارتباطی آستارا ـ اردبیل قرار دارد. این گردنه به دلیل طبیعت و مناظر بسیار دیدنی از جمله مقاصد مهم توریستی و گردشگری در کشور است. بازدیدها و بررسی‌های صحرایی به‌عمل آمده از گردنه‌ی حیران حاکی از آن است که از بین بردن جنگل‌ها و تبدیل آنها به مرتع، زمین‌های زراعی و مناطق مسکونی در منطقه به‌شدت در حال افزایش و کیفیت خاک رو به کاهش است که این امر به دلیل دخالت‌های مخرب انسانی (از قبیل نابودی پوشش گیاهی به واسطه‌ی قطع بی‌رویه‌ی درختان، استفاده بیش از حد از اراضی مرتعی، ویلاسازی و احداث جاده در طبیعت، و فعالیت‌های تفریحی) و اثرات سوء این دخالت‌ها بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و به‌خصوص خواص بیولوژیکی خاک می‌باشد. این موضوع به فقدان توانایی اکوسیستم خاک در ایفای نقش خود منجر خواهد شد که نتیجه‌ی آن با توجه به شیب‌دار بودن گردنه، می‌تواند جاری شدن سیل در منطقه و فرسایش هر چه بیشتر خاک به‌عنوان یکی از اجزای مهم محیط‌زیست باشد. از سوی دیگر، به دلیل تنوع ویژگی‌های توپوگرافی گردنه‌ی حیران، این منطقه برای مطالعه‌ی تأثیر خصوصیات توپوگرافی و جهت‌های شیب بر ویژگی‌های خاک بسیار مناسب است. با عنایت به مطالب مذکور و توجه به تحقیقات بسیار نادر انجام شده در کشور در خصوص تأثیر متغیرهای توپوگرافی بر شاخص‌های زیستی خاک، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی تأثیر جهت و موقعیت شیب بر برخی از شاخص‌های میکروبی خاک در زمین‌های مرتعی و جنگلی این گردنه انجام شد.

۲ـ مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مورد مطالعه و تهیه‌ی نمونه‌های خاک

منطقه‌ی مورد مطالعه، اراضی واقع در گردنه‌ی حیران از توابع شهرستان آستارا در استان گیلان است. این منطقه در مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۶ دقیقه و ۷ ثانیه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۲۳ دقیقه و ۲۷ ثانیه عرض شمالی واقع است.

برای اجرای این پژوهش، ۴۸ نمونه خاک دست‌خورده از عمق ۰ تا ۱۰ سانتی‌متری زمین‌های مرتعی و جنگلی از دو جهت شمالی و جنوبی شیب، و در سه موقعیت شانه*، پا† و پنجه شیب‡ تهیه شد. به‌منظور به حداقل رساندن تغییرات، نمونه‌های برداشت شده در همان محل نمونه‌برداری، پس از جمع‌آوری کامل بقایای گیاهی و عبور دادن از الک ۲ میلی‌متری در کیسه‌های پلاستیکی ــ که برچسب مشخصات داشت ــ بسته‌بندی شد. سپس در داخل فلاسک یخ‌دار به آزمایشگاه منتقل و در یخچال با دمای ۴ درجه‌ی سانتی‌گراد نگه‌داری شد.

اندازه‌گیری شاخص‌های زیستی

از شاخص‌های زیستی خاک، جمعیت میکروارگانیسم‌ها، تنفس میکروبی پایه و تنفس ناشی از بستره§، کربن زیتوده میکروبی** و سهم میکروبی†† اندازه‌گیری شد. جمعیت میکروارگانیسم‌های خاک به روش محتمل‌ترین تعداد ممکن (MPN‡‡)، تنفس میکروبی پایه به روش جمع‌آوری CO_2 آزاد شده در هیدروکسید سدیم، و تیتراسیون برگشتی مقدار باقی‌مانده‌ی آن با اسید کلریدریک تعیین شد (Anderson, 1982). برای اندازه‌گیری تنفس ناشی از بستره (تحریک شده)، ۵۰ گرم از نمونه‌های خاک توزین و به ظروف شیشه‌ای درب‌دار منتقل شد. سپس یک میلی‌لیتر گلوکز ۱٪ به عنوان سوبسترا به هر کدام از ظروف اضافه و بلافاصله پس از قرار دادن یک بشر ۱۰۰ میلی‌لیتری حاوی ۲۵ میلی‌لیتر محلول هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال درون ظروف، درب آن به طور کامل بسته شد. برای اطمینان از عدم نشت گاز دی‌اکسید کربن به بیرون، شکاف درب ظرف با سلفون پوشانده شد و ظروف به مدت ۶ ساعت در انکوباتور با دمای ۱ ± ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد انکوبه شد. در ادامه، نمونه‌ها با استفاده از اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال تیتر و مقدار CO_2 آزاد شده محاسبه و در نهایت، میزان تنفس ناشی از بستره تعیین شد (Alef and Nannipieri, 1995). کربن زیست توده‌ی میکروبی نیز با روش تدخین ــ استخراج اندازه‌گیری شد (Jenkinson and Ladd, 1981). سهم میکروبی، از تقسیم میزان کربن زیتوده میکروبی خاک (میلی‌گرم کربن بر گرم خاک) بر میزان کربن آلی خاک (گرم کربن بر گرم خاک) به دست آمد (Martens, 1991).

طرح آزمایشی و تجزیه و تحلیل آماری داده‌های پژوهش

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل کاربری اراضی در دو سطح (مرتع و جنگل)، جهت شیب در دو سطح (شمالی و جنوبی) و موقعیت شیب در سه سطح (شانه، پا و پنجه شیب) بود. نرمال بودن داده‌ها نیز با استفاده از آزمون کولموگروف ــ اسمیرنوف بررسی شد. تجزیه‌ی واریانس و مقایسه‌ی میانگین‌ها (با آزمون دانکن)، با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. نمودارها نیز با نرم‌افزار Excel رسم شد.

* shoulder
† footslope
‡ toeslope
§ Substrate Induced Respirations; SIR
** Microbial Biomass Carbon; MBC
†† Microbial quotient
‡‡ Most Probable Number

۳ـ نتایج

آماره‌های توصیفی برخی از خواص فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده در خاک جنگل و مرتع، به‌ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ آورده شده‌است (Asghari and Shahab, 2020).

جدول ۱: آماره‌های توصیفی پارامترهای اندازه‌گیری شده در خاک جنگل

متغیر	واحد	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف استاندارد	ضریب تغییرات
B_d	(g/cm^3)	۱/۱۰	۱/۵۰	۱/۲۸	۰/۱۱۸	۹/۲۱
D_p	(g/cm^3)	۲/۱۳	۲/۵۷	۲/۳۷	۰/۱۵	۶/۳۲
Clay	(%)	۱۱/۲۷	۳۱/۱۳	۲۱/۰۲	۵/۸۷	۲۷/۹۲
Silt	(%)	۱۹/۱۰	۴۷/۲۰	۳۴/۴۷	۷/۴۸	۲۱/۷۰
Sand	(%)	۲۷/۱۵	۶۵/۱۶	۴۴/۵۳	۱۱/۲۹	۲۵/۳۷
OC	(%)	۱/۵۶	۳/۵۱	۲/۶۶	۰/۴۱۶	۱۵/۶۳
pH	-	۶/۵۲	۷/۳۰	۶/۷۳	۰/۱۸۶	۲/۷۶
EC	(dS/m)	۰/۰۱	۰/۱۶	۰/۰۹۲	۰/۳۳	۳/۵۸
$CaCo_3$	(%)	۶	۱۰/۸۰	۸/۵۲	۱/۵۷	۱۸/۴۲

D_p: جرم مخصوص حقیقی؛ B_d: جرم مخصوص ظاهری؛ Clay: رس؛ Silt: سیلت؛ Sand: شن؛ OC: کربن آلی؛ pH: اسیدیته؛ EC: هدایت الکتریکی؛ $CaCO_3$: آهک.

جدول ۲: آماره‌های توصیفی پارامترهای اندازه‌گیری شده در خاک مرتع

متغیر	واحد	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف استاندارد	ضریب تغییرات
Bd	(g/cm^3)	۱/۲۵	۱/. آهک۶۱	۱/۳۸	۰/۰۸۱	۵/۸۶
D_p	(g/cm^3)	۲/۱۲	۲/۵۸	۲/۳۸	۰/۱۶	۶/۷۲
Clay	(%)	۲۰/۸۸	۴۸/۶۱	۳۱/۴۶	۶/۷۰	۲۱/۲۹
Silt	(%)	۲۱/۳۹	۵۱/۰۳	۳۵/۵۴	۶/۵۰	۱۸/۲۸
Sand	(%)	۱۹/۱۸	۴۹/۷۶	۳۲/۹۷	۸/۳۶	۲۵/۳۵
OC	(%)	۱/۴۶	۲/۸۲	۲/۳۱	۰/۳۶	۱۵/۶۳
pH	-	۶/۵۲	۶/۸۹	۶/۶۹	۰/۱۱	۲/۷۶
EC	(dS/m)	۰/۰۳	۰/۱۳	۰/۰۸۹	۰/۰۲۱	۲۳/۵۹
$CaCo_3$	(%)	۶	۱۰/۸۰	۸/۵۲	۱/۵۷	۱۸/۴۲

D_p: جرم مخصوص حقیقی؛ B_d: جرم مخصوص ظاهری؛ Clay: رس؛ Silt: سیلت؛ Sand: شن؛ OC: کربن آلی؛ pH: اسیدیته؛ EC: هدایت الکتریکی؛ $CaCO_3$:

جدول ۳: تجزیه‌ی روایانس اثر کاربری اراضی، جهت و موقعیت شیب بر شاخص‌های میکروبی خاک

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		تنفس میکروبی پایه	تنفس ناشی از بستره	جمعیت میکروبی	کربن زیتوده میکروبی	سهم میکروبی
کاربری زمین	۱	۰/۳۹۷**	۶/۶۱۴**	۷۲۳۳۰۰**	۳۱۳۹۵۹**	۲/۲۶*
جهت شیب	۱	۰/۱۹۱**	۳/۰۵۵**	۲۹۲۸**	۹۴۳۳۶**	۰/۳۱۷*
موقعیت شیب	۲	۰/۰۱۸**	۰/۳۰۷**	۱۰۷۹۷**	۱۹۲۹۹**	۰/۳۹۵*
کاربری× جهت	۱	۰/۰۱۳**	۰/۰۸۶**	۲۸۷۹**	۹۷۱۴**	۰/۳۱۴*
کاربری× موقعیت	۲	۰/۰۰۵**	۰/۰۴۸**	۱۰۵۶۷**	۳۷۱۶**	۰/۰۶۶^{ns}
جهت× موقعیت	۲	۰/۰۱۲**	۰/۰۲۴^{ns}	۷۰۲۹**	۸۸۲^{ns}	۰/۲۶۶*
کاربری× جهت× موقعیت	۲	۰/۰۰۴**	۰/۰۱۳^{ns}	۶۸۹۳**	۲۰۰۲^{ns}	۰/۰۵۸^{ns}
خطا	۳۶	–	–	–	–	–
ضریب تغییرات	–	۰/۶۹۴	۱۰/۷۸	۲۰/۸	۲/۵۰	۶/۲۰۳

**، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیرمعنی‌دار.

با توجه به داده‌های تجزیه‌ی واریانس، اثر اصلی کاربری، جهت و موقعیت شیب بر سهم میکروبی در سطح احتمال ۵ درصد و بقیه‌ی شاخص‌های میکروبی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). اثرات متقابل دو جانبه‌ی کاربری× جهت شیب و کاربری× موقعیت شیب بر جمعیت میکروارگانیسم‌ها، تنفس میکروبی پایه و تنفس ناشی از بستره و کربن زیتوده میکروبی، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد داشت. در خصوص سهم میکروبی نیز اثرات دو جانبه‌ی کاربری× جهت شیب و جهت شیب× موقعیت شیب، در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. در این مطالعه، اثرات سه جانبه‌ی متقابل فاکتورها فقط بر تنفس میکروبی پایه و جمعیت میکروارگانیسم‌ها در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

جمعیت میکروارگانیسم‌های خاک

یافته‌های این تحقیق نشان داد که اثر اصلی فاکتورهای مورد مطالعه و اثرات متقابل دو و سه جانبه‌ی آنها، بر جمعیت میکروبی تأثیر معنی‌داری داشت (جدول ۳). میکروارگانیسم‌های خاک، بالاترین فراوانی ($۲/۳۰\times۱۰^{۸}$ میکروارگانیسم در هر گرم خاک خشک) را در موقعیت شانه شیب و در جهت شمالی کاربری جنگل داشت. کمترین تعداد این موجودات زنده (۱۵۲×۱۰^{۶}/. میکروارگانیسم در هر گرم خاک خشک)، در موقعیت پنجه شیب و در جهت جنوبی کاربری مرتع مشاهده شد که با سایر موقعیت‌های شیب در دو جهت شمالی و جنوبی کاربری مزبور اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴). موقعیت شانه شیب در مقایسه با دیگر موقعیت‌ها، در هر دو کاربری و هر دو جهت شمالی و جنوبی تعداد میکروارگانیسم‌های زیادی داشت (جدول ۴). در این تحقیق، بین جمعیت میکروارگانیسم‌های خاک با تنفس میکروبی پایه ($r=./۷۸^{**}$)، تنفس ناشی از بستره ($r=./۸۲^{**}$) و کربن زیتوده میکروبی ($r=./۶۷^{**}$)، همبستگی خطی مثبت و معنی‌دار نسبتاً بالایی وجود داشت. همبستگی بین این پارامتر و سهم میکروبی، خطی مثبت و معنی‌دار اما ضعیف ($r=./۳۷^{**}$) بود (جدول ۵).

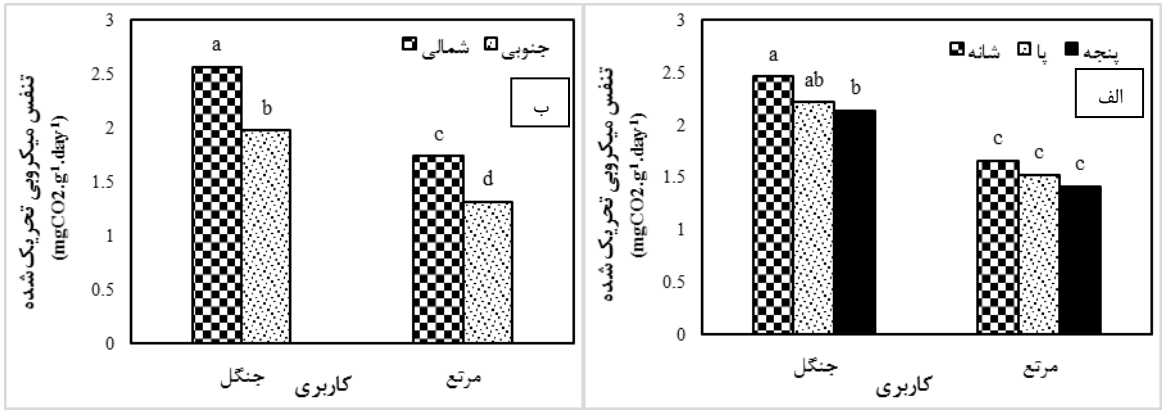
جدول ۴: مقایسه‌ی میانگین اثر کاربری اراضی، جهت و موقعیت شیب بر تنفس میکروبی پایه و جمعیت میکروارگانیسم‌های خاک

کاربری اراضی	جهت شیب	موقعیت شیب	تنفس میکروبی پایه $mgCO_2 . g^{-1}. (day^{-1})$	جمعیت میکروارگانیسم (تعداد در گرم خاک خشک)
جنگل	شمالی	شانه شیب	۰/۴۸۰۶ a	۲/۳۰×۱۰^۸ a
		پای شیب	۰/۴۳۴ b	۱/۱۰×۱۰^۸b
		پنجه شیب	۰/۴۱۴ b	۰/۴۹×۱۰^۸c
	جنوبی	شانه شیب	۰/۳۵۱ c	۰/۴۱×۱۰^۸cd
		پای شیب	۰/۳۰۴ d	۰/۲۵×۱۰^۸de
		پنجه شیب	۰/۱۹۵ ef	۰/۱۹×۱۰^۸ef
مرتع	شمالی	شانه شیب	۰/۲۳۹ e	۱/۲۴ ×۱۰^۶f
		پای شیب	۰/۲۱۳ef	۰/۵۳ ×۱۰^۶f
		پنجه شیب	۰/۲۳۰ e	۰/۳۱×۱۰^۶f
	جنوبی	شانه شیب	۰/۱۷۱ f	۰/۲۸×۱۰^۶f
		پای شیب	۰/۱۲۵ g	۰/۱۹۱×۱۰^۶f
		پنجه شیب	۰/۰۹۷ g	۰/۱۵۲×۱۰^۶f

در هر ستون، میانگین‌های با حروف غیرمشابه دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد هستند.

تنفس میکروبی خاک

در پژوهش حاضر، اثر اصلی و اثرات متقابل دو و سه جانبه‌ی فاکتورهای مورد مطالعه بر تنفس میکروبی پایه، در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معنی‌داری داشت (جدول ۳). بیشترین مقدار این شاخص ($mgCO_2 . g^{-1}. day^{-1}$ ۰/۴۸۰۶)، در شانه شیب و جهت شمالی اراضی جنگلی اندازه‌گیری شد که با سایر سطوح فاکتورهای مورد مطالعه تفاوت معنی-داری داشت. تنفس میکروبی پایه، کمترین مقدار ($mgCO_2 . g^{-1}. day^{-1}$ ۰/۰۹۷) را در موقعیت پنجه شیب و جهت جنوبی کاربری مرتع داشت که اختلاف آن با دیگر سطوح فاکتورهای تحقیق به جز موقعیت پای شیب واقع در جهت جنوبی کاربری مذکور معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج حاصل از تجزیه‌ی واریانس داده‌ها نیز نشان داد که اثرات متقابل کاربری× جهت شیب و کاربری× موقعیت شیب بر تنفس ناشی از بستره (تحریک شده)، در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین ($mgCO_2 . g^{-1}. day^{-1}$ ۲/۴۶) و کمترین ($mgCO_2 . g^{-1}. day^{-1}$ ۱/۴۱) مقدار شاخص مزبور نیز به ترتیب در شانه شیب خاک جنگل و پنجه شیب خاک مرتع مشاهده شد (شکل ۱ الف). با توجه به شکل ۱ (ب)، تنفس ناشی از بستره در خاک جنگل واقع در شیب شمالی، بیشترین ($mgCO_2 . g^{-1}. day^{-1}$ ۲/۵۷) و در خاک مرتع شیب جنوبی، کمترین ($mgCO_2 . g^{-1}. day^{-1}$ ۱/۳۲) مقدار را نشان داد. در هر دو کاربری مورد ارزیابی، مقدار تنفس میکروبی (پایه و تنفس ناشی از بستره) در شیب جنوبی کمتر از شیب شمالی بود (جدول ۴ و شکل ۱ ب). همچنین مشابه جمعیت میکروبی، شاخص‌های زیستی مزبور نیز در موقعیت شانه شیب در مقایسه با دیگر موقعیت‌ها در هر دو کاربری بیشتر بود (جدول ۴ و شکل ۱ الف). با توجه به جدول ۵، بین تنفس پایه میکروبی و تنفس ناشی از بستره، همبستگی مثبت، معنی‌دار و قوی (r=./۹۴**) وجود داشت.

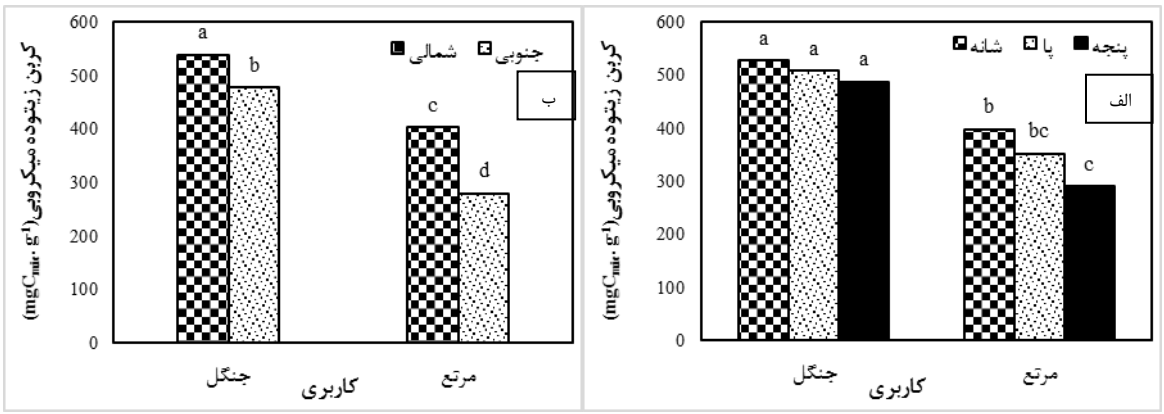


شکل ۱: اثرات متقابل کاربری × موقعیت شیب (الف) و کاربری × جهت شیب (ب) بر تنفس ناشی از بستره (تحریک شده)

حروف غیرمشابه، بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد است.

کربن زیتوده میکروبی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی کاربری و متغیرهای موقعیت و جهت شیب، همچنین اثر متقابل کاربری× جهت شیب و کاربری× موقعیت شیب بر کربن زیتوده میکروبی معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه‌ی میانگین داده‌ها نشان داد که این شاخص، بیشترین مقدار ($mgC_{mic}. g^{-1}$ ۵۲۸) را در موقعیت شانه شیب کاربری جنگلی نشان داد؛ هر چند که اختلاف معنی‌داری با سایر موقعیت‌ها در این کاربری وجود نداشت. پایین‌ترین مقدار کربن زیتوده میکروبی ($mgC_{mic}. g^{-1}$ ۲۹۱) نیز در پنجه شیب اراضی مرتع بود که با سایر موقعیت‌ها در هر دو کاربری (به استثنای موقعیت پای شیب کاربری مرتع) اختلاف معنی‌داری داشت (شکل ۲ الف). تغییر جهت شیب به تغییر مقدار کربن زیتوده میکروبی در کاربری‌های مورد بررسی منجر شد؛ به طوری‌که در اراضی جنگلی واقع در جهت شمالی، مقدار شاخص مزبور ($mgC_{mic}. g^{-1}$ ۵۳۹) با اختلاف معنی‌دار از مقدار آن در جهت جنوبی این کاربری و هر دو جهت شمالی و جنوبی اراضی مرتع بیشتر بود (شکل ۲ ب). در پژوهش پیش‌رو، بین کربن زیتوده میکروبی با تنفس میکروبی پایه (r=./۸۴**) و تنفس ناشی از بستره (r=./۸۹**)، همبستگی خطی مثبت و معنی‌دار نسبتاً قوی وجود داشت (جدول ۵).

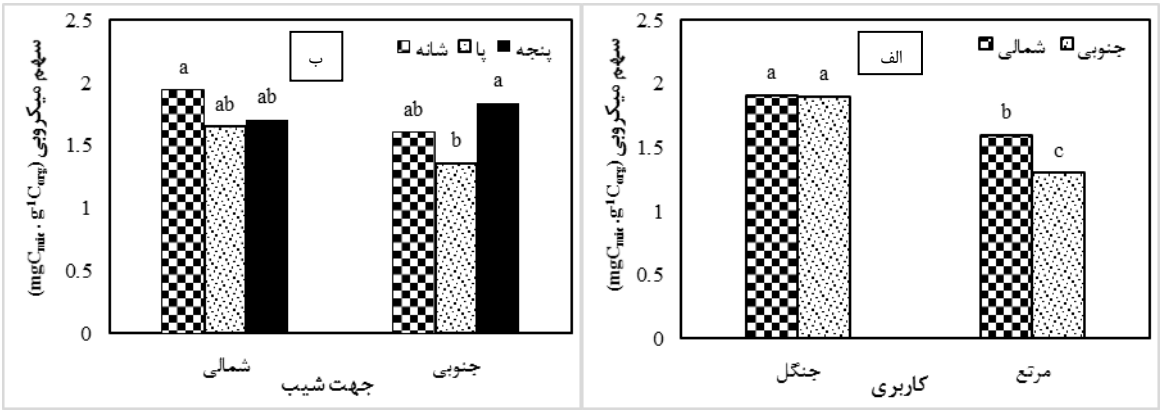


شکل ۲: اثرات متقابل کاربری × موقعیت شیب (الف) و کاربری × جهت شیب (ب) بر کربن زیتوده میکروبی

حروف غیرمشابه، بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد است.

سهم میکروبی

با توجه به نتایج حاصل شده، تأثیر اصلی فاکتورهای پژوهش و اثرات متقابل جهت شیب × موقعیت شیب و کاربری× جهت شیب بر سهم میکروبی، در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار داشت (جدول ۳). مقایسه‌ی میانگین در شکل ۳ (ب) نشان می‌دهد که بیشترین مقدار سهم میکروبی، مربوط به شانه شیب در جهت شمالی است که با مقدار این شاخص در موقعیت‌های پا و پنجه شیب واقع در جهت شمالی، همچنین شانه و پنجه شیب در جهت جنوبی اختلاف معنی‌داری نداشت. مقدار سهم میکروبی در دو جهت شمالی ($mgC_{mic}.g^{-1}C_{org}$ ۱/۹۱) و جنوبی شیب ($mgC_{mic}.g^{-1}C_{org}$ ۱/۹) در کاربری جنگل، تقریباً برابر بود که با مقدار آن در هر دو جهت شمالی و جنوبی کاربری مرتع، اختلاف معنی‌داری داشت (شکل ۳ الف). همبستگی سهم میکروبی با دیگر شاخص‌های میکروبی مورد مطالعه، خطی مثبت و معنی‌دار بود. قوی‌ترین همبستگی نیز بین این پارامتر زیستی و کربن زیتوده میکروبی (r=./۷۴**) مشاهده شد (جدول ۵).



شکل ۳: اثرات متقابل کاربری× جهت شیب (الف) و جهت شیب × موقعیت شیب (ب) بر سهم میکروبی

حروف غیرمشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

جدول ۵: همبستگی‌های پیرسون بین شاخص‌های میکروبی خاک

شاخص‌های میکروبی	BR	SIR	MPN	MBC	q_{mic}
BR	۱				
SIR	۰/۹۴۶**	۱			
MPN	۰/ ۷۸**	۰/۸۲**	۱		
MBC	۰/۸۴۵**	۰/۸۹**	۰/۶۷**	۱	
q_{mic}	۰/۴۳**	۰/۵۹**	۰/۳۷**	۰/۷۴**	۱

** همبستگی معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد؛ BR: تنفس میکروبی پایه؛ SIR: تنفس ناشی از بستره؛ MPN: جمعیت میکروارگانیسم‌های خاک؛ MBC: کربن زیتوده میکروبی خاک؛ q_{mic}: سهم میکروبی.

۴ـ بحث و نتیجه‌گیری

پژوهشگران معتقدند که به‌منظور مطالعه و بررسی فرآیندهای خاک در سیستم‌های مختلف کاربری اراضی و حفاظت و احیای توانایی خاک در انجام دادن وظایف اکوسیستمی خود، اجرای پژوهش در خصوص تأثیر تغییر کاربری اراضی بر عملکرد اکوسیستم خاک به واسطه‌ی فعالیت‌های انسانی امری ضروری است (Van Leeuwen et al, 2017). پژوهش‌های انجام شده حاکی از آن است که میکروارگانیسم‌های خاک به دلیل تأثیر آن بر خواص خاک (محتوی کربن آلی و عناصر غذایی، رطوبت، pH، جرم مخصوص ظاهری و تخلخل) و تفاوت سرعت تجزیه‌ی بقایا در کاربری‌های مختلف، به تغییر کاربری اراضی خیلی حساس بود و این تغییر، بر روی ساختار جامعه‌ی میکروبی و فعالیت آنها تأثیر بسزایی داشت (Andersen et al, 2013 & Card and Quideau, 2010 & Hooper and Vitousek, 1998 & Asghari et al, 2016 & Padiab et al, 2020 & Soui et al, 2019). در پژوهش حاضر، مقدار تمام پارامترهای زیستی در اراضی جنگلی به‌طور قابل‌توجهی بیش از مقدار این پارامترها در زمین‌های مرتعی بود. پژوهشگران مختلفی گزارش کرده‌اند که گیاهان، با تأمین مواد آلی (ترشحات ریشه‌ای و بقایا) به‌طور معنی‌داری بر فعالیت و تنوع میکروبی خاک تأثیر می‌گذارند (Royer-Tardif et al, 2010 & Dornbush, 2007). مواد آلی به صورت منبع کربن و انرژی برای میکروارگانیسم‌های هتروترف عمل می‌کند و به بهبود فعالیت و افزایش تعداد و زیتوده آنها منجر می‌شود. همچنین در منطقه‌ی مورد مطالعه، در کاربری جنگل جرم مخصوص ظاهری و مقاومت فروروی کمتر از کاربری مرتع بود که می‌تواند نشان از تخلخل بالا در خاک جنگلی باشد (Asghari and Shahab, 2020). در نتیجه وضعیت تخلخل تهویه‌ای در این خاک، مناسب‌تر از خاک مرتع است که این عامل به بهبود شرایط تهویه‌ای و اکسیژن‌رسانی بهتر به خاک منجر می‌شود و شرایط برای رشد و تکثیر و فعالیت میکروارگانیسم‌های هوازی خاک ــ که قسمت اعظم میکروارگانیسم‌ها را در خاک‌های معمول تشکیل می‌دهند ــ بیشتر فراهم می‌شود. در تحقیقی، Fan و همکاران (۲۰۱۵) تنفس خاک را در کاربری‌های مختلف مطالعه و مشاهده کردند که مقدار این شاخص در باغ چای با تولید بالا، بیش از باغ چای با تولید پایین و جنگل بود. TsheringLepcha و Devi (۲۰۲۰) در پژوهش اثر کاربری روی کربن زیتوده میکروبی در هیمالیای شرقی، گزارش کردند که میزان این پارامتر زیستی در جنگل نیمه-گرمسیری بیش از جنگل زراعی هل و زمین شالیزار بود. Reza و همکاران (۲۰۱۱) نیز در مطالعه‌ای تأثیر سه نوع کاربری (جنگل، باغ چای، زمین کشاورزی) را بر شاخص‌های زیستی خاک بررسی و مشاهده کردند که مقدار کربن زیتوده میکروبی، نیتروژن زیتوده میکروبی، فسفر زیتوده میکروبی، اسید فسفاتاز و فعالیت دهیدروژناز خاک، در اراضی جنگل بیش از دو کاربری دیگر بود. Sui و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که کشت زمین‌های باتلاقی و مرداب با تغییر مخازن کربن، نیتروژن و فسفر خاک؛ تنوع باکتری‌ها، قارچ‌ها و ساختار جامعه‌ی میکروبی را به واسطه-ی فعالیت‌های انسانی تغییر داد. Cuneyt unver و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه‌ی اثرات کاربری اراضی (باغ‌های سیب، مزرعه‌ی آقاقیا، مزرعه‌ی گردو و چمنزار) بر تنفس خاک نشان دادند که این پارامتر بیشترین مقدار را در مزرعه‌ی آقاقیا داشت. در پژوهشی Wu و همکاران (۲۰۲۰)، تغییرات جامعه‌ی باکتریایی با نوع کاربری (بوته‌زار، مزارع مخروطی، جنگل طبیعی و مزرعه‌ی ذرت) را بررسی کردند. این محققان گزارش کردند که در مقایسه با جنگل و خاک‌های بوته‌زار، جمعیت باکتریایی در مزرعه‌ی ذرت پایین‌ترین مقدار را داشت.

موقعیت‌های مختلف شیب می‌تواند با کنترل حرکت آب، مواد آلی و عناصر غذایی، در ایجاد تنوع مکانی ویژگی-های خاک نقش داشته باشد (Moges and Holden, 2008). Reza و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی اثر موقعیت شیب را بر شاخص‌های میکروبی بررسی کردند. این محققان گزارش کردند که موقعیت شیب بر کربن زیتوده میکروبی، نیتروژن زیتوده میکروبی، فسفر زیتوده میکروبی، اسید فسفاتاز و فعالیت دهیدروژناز اثر معنی‌داری داشت. بیشترین مقدار این شاخص‌ها نیز در شیب‌های بالا گزارش شد. در پژوهش انجام شده توسط Khalili-Rad و همکاران (۲۰۱۱)، مقدار کربن زیتوده میکروبی و تنفس میکروبی پایه از قسمت بالا به سمت پایین‌ترین نقطه‌ی شیب (از موقعیت‌های بالا به سمت موقعیت‌های پایین شیب) افزایش نشان داد؛ به طوری‌که بیشترین مقدار این شاخص‌ها در موقعیت پنجه شیب مشاهده شد. Tavakoli و همکاران (۲۰۰۸) برخی از شاخص‌های کیفیت خاک را در باغ‌های بادام واقع در شیب-های شمالی و جنوبی بررسی کردند و نشان دادند که تأثیر موقعیت‌های مختلف شیب بر کلیه‌ی شاخص‌های زیستی معنی‌دار بود. نتایج کار این محققان نشان داد که موقعیت‌های پای شیب و پنجه شیب دارای حداکثر فعالیت آنزیم‌های آلکالین فسفاتاز و اسید فسفاتاز، و معدنی شدن نیتروژن و کربن است. در پژوهش حاضر، مطالعه‌ی خاک در موقعیت-های مختلف شیب نشان داد که این متغیر توپوگرافی بر پارامترهای میکروبی خاک تأثیر معنی‌داری داشت؛ به طوری-که شاخص‌های میکروبی در موقعیت شانه شیب مقادیر بالایی داشت هر چند که مقدار برخی از شاخص‌ها در این موقعیت، با سایر موقعیت‌های مورد بررسی اختلاف معنی‌داری نداشت. این یافته نشان می‌دهد که میکروارگانیسم‌های خاک در این موقعیت، در وضعیت مطلوبی هستند و رشد و فعالیت خوبی دارند. با توجه به درجه‌ی کم شیب در منطقه-ی مورد مطالعه، توریستی بودن و وجود دام‌های محلی، این موضوع را می‌توان به رفت‌وآمد و فعالیت زیاد انسان و دام در موقعیت‌های پنجه و پای شیب نسبت داد که نتیجه‌ی آن، آسیب به پوشش گیاهی و از بین رفتن آن همچنین کاهش خلل و فرج خاک است. این شرایط با کاهش ماده آلی خاک، تخریب خاکدانه‌ها و افزایش جرم مخصوص ظاهری (Asghari and Shahab, 2020) و ایجاد شرایط نامطلوب تهویه‌ای به کاهش فعالیت جامعه‌ی میکروبی در خاک موقعیت‌های پایین شیب منجر شده‌است.

شرایط میکروکلیمای خاک (دما و رطوبت) در انواع مختلف شیب‌ها، می‌تواند فرآیندهای خاک و تکامل آن را تحت‌تأثیر قرار دهد (Egli et al, 2006). جهت شیب با تغییر سرعت تجزیه‌ی بقایا و فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک بر بسیاری از خواص خاک تأثیر می‌گذارد (Nahidan et al, 2015). در این تحقیق، مقادیر شاخص‌های میکروبی در جهت شمالی شیب در هر دو کاربری به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیش از جهت جنوبی بود. شیب‌های جنوبی انرژی خورشیدی بیشتری را نسبت به شیب‌های شمالی دریافت می‌کرد. این موضوع با تأثیر بر فرآیندهای خاک و توسعه‌ی آن همچنین میزان پوشش گیاهی در دو شیب، می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی روی فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک تأثیر بگذارد (Sariyildiz et al, 2005 & Carletti et al, 2009 & Huang et al, 2015). معمولاً در شیب‌های رو به جنوب، تعداد و فعالیت جامعه‌ی میکروبی خاک به دلیل دمای بالا، آب کم، تخلخل پایین و عواقب نامطلوب ناشی از پوشش گیاهی نامناسب (از قبیل ترشحات ریشه‌ای کم گیاهان که حاوی ترکیبات آلی سهل‌الوصول از قبیل قندها، اسیدهای آلی و هورمون‌ها برای میکروارگانیسم‌ها) پایین است (Zhang et al, 2010 & Wang et al, 2008 & Ai et al, 2018)؛ یافته‌های این پژوهش نیز حاکی از تعداد و فعالیت کم میکروارگانیسم‌ها در خاک‌های واقع در شیب جنوبی بود. Ai و

همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی، اثر جهت شیب را بر روی شاخص‌های زیستی در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری چمنزار مطالعه کردند. یافته‌های آنها نشان داد که بیشترین مقدار کربن زیتوده میکروبی، تنفس میکروبی پایه، تنفس ناشی از بستره و PLFA* کل، در خاک غیرریزوسفری چمنزار در جهت شمالی شیب مشاهده شد. مقدار این شاخص‌های زیستی در خاک ریزوسفری جهت‌های متفاوت (شمالی، جنوبی و شمال غربی)، اختلاف معنی‌داری با همدیگر نداشت. Maleki و همکاران (۲۰۱۳) طی پژوهش بررسی اثر جهت و موقعیت شیب بر روی برخی از ویژگی‌های خاک گزارش دادند که جهت شیب بر مقدار تنفس میکروبی خاک تأثیر داشت و بیشترین مقدار این پارامتر، در شیب جهت شمال شرقی و زمین آیش همچنین شیب جهت شرقی و زمین تحت کشت پنبه اندازه‌گیری شد.

سهم میکروبی یا نسبت میکروبی، شاخص زیستی مهمی است که از آن برای بررسی کیفیت خاک استفاده می‌شود. این نسبت، رابطه‌ی کربن میکروبی و کربن آلی را نشان می‌دهد و به کمک آن می‌توان دینامیک کربن را در خاک بررسی کرد (Azizi and Mirbolook, 2017). در تحقیق حاضر، تغییرات سهم میکروبی و کربن زیتوده میکروبی در دو کاربری مرتع و جنگل و جهت‌های شیب مورد مطالعه شباهت نسبتاً زیادی با همدیگر داشت (اشکال ۲ ب و ۳ الف) که علت این موضوع می‌تواند تغییرات نسبتاً کم کربن آلی خاک باشد (Asghari and Shahab, 2020). بنابراین، می‌توان اظهار کرد که سهم میکروبی تابع کربن زیتوده میکروبی خواهد بود. در این پژوهش وجود همبستگی خطی مثبت و معنی‌دار نسبتاً قوی (r=./۷۴**) بین این دو پارامتر زیستی، این موضوع را تأیید می‌کند.

در مجموع، نتایج این تحقیق نشان داد که در منطقه‌ی مورد مطالعه، شاخص‌های زیستی به موقعیت‌های زمین‌نما و کاربری اراضی وابسته است و این عوامل با اثرگذاری بر ساختار جامعه‌ی میکروبی، می‌توانند خصوصیات خاک و توسعه و تکامل آن را تحت‌تأثیر قرار دهد. با توجه به نقش خیلی مهم میکروارگانیسم‌ها به‌عنوان جزئی جدایی‌ناپذیر در اکوسیستم خاک و تأثیر این جزء بر خواص فیزیکی، شیمیایی و تغذیه‌ای این اکوسیستم، می‌توان با فراهم کردن شرایط مناسب برای فعالیت خوب این موجودات زنده، به افزایش هرچه بیشتر کیفیت خاک و کاهش فرسایش و هدر رفت آن کمک بسیاری کرد.

منابع

1. Ai, Z. M.; He, L. R.; Xin, Q.; Yang, T.; Liu, G. B.; S. Xue, 2017a. Slope aspect affects the non-structural carbohydrates and C:N:P stoichiometry of Artemisia sacrorum on the Loess Plateau in China, *Catena*, 152, 9-17.

2. Ai, Z. M.; Zhang, J. Y.; Liu, H. F.; Xue, S.; & G. B. Liu, 2018. Influence of slope aspect on the microbial properties of rhizospheric and non-rhizospheric soils on the Loess Plateau, China, *Solid Earth*, 9, 1157-1168.

3. Alef, K., & P. Nannipieri., (1995). Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry. Academic Press. London. 453p.

4. Alemayehu, K., 2007. Effects of different land use systems and topography on selected soil properties at Delbo Watershed, Wolayita Zone, southern Ethopia. M.Sc. Thesis. Hawassa University, Hawassa, Ethopia.

* Phospholipid-derived fatty acid

5. Amirinejad, A. A., & S. Ghotbi., (2018). The Impact of Land Use Change on Soil Physical Quality in Gilan-e-Gharb Region. *Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*. 22, 41-51.
6. Andersen, R.; Wells, C.; Macrae, M.; & J. Price, 2013. Nutrient mineralisation and microbial functional diversity in a restored bog approach natural conditions 10 years post restoration, *Soil Biology and Biochemistry*, 64, 37-47.
7. Anderson, J. P. E., 1982. Soil respiration. In: Page A.L. and Mille R.H. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Micro Biological Properties, American Society of Agronomy, Madison, W.I, pp. 831-871.
8. Ascher, J.; Sartori, G.; Graefe, U.; Thornton, B.; Ceccherini, M.; Pietramellara, G.; & M. Egli, 2012. Are humus forms, mesofauna and microflora in subalpine forest soils sensitive to thermal conditions?, *Biology and Fertility of Soils*, 48, 709-725.
9. Asghari, S. h., & H. Shahab Arkhazloo., (2020). Effects of Land Use and Slope on Soil Physical, Mechanical and Hydraulic Quality in Heyran Neck, Ardabil Province. *journal of Environmental Erosion Research*. 37, 79-91.
10. Asghari, S. h.; Ahmadnejad, S.; & F. Keivan Behjou, 2016. Deforestation effects on soil quality and water retention curve parameters in eastern Ardabil, Iran, *Eurasian Soil Science*, 49(3), 338-346.
11. Azizi, E., & A. Mirbolook., (2017). he Effect of Cr(VI) and Vermicompost on Some of Microbial and Ecophysiological Indices of Soil. *Water and Soil Science*. 27(4), 13-25.
12. Bardelli, T; Gómez-Brandón, M; Ascher-Jenull, J; Fornasier, F; Arfaioli, P; Francioli, D; Egli, M; Sartori, G; Insam, H; & G. Pietramellara, 2017. Effects of slope exposure on soil physicochemical and microbiological properties along an altitudinal climosequence in the Italian Alps, *Science of the Total Environment*, 575, 1041-1055.
13. Bunemann, E. K; Bongiorno, G; Bai, Z. G; Creamer, R; Deyn, G. B; de Goede, R. G. M; de Fleskens, L; Geissen, V; Kuijper, T. W. M; Mäder, P; Pulleman, M. M; Sukkel, W; Groenigen, J. W.; & L. Brussaard, 2018. Soil quality – A critical review, *Soil Biology and Biochemistry*, 120, 105-125.
14. Card, S. M., & S. A. Quideau., 2010. Microbial community structure in restored riparian soils of the Canadian prairie pothole region. *Soil Biology and Biochemistry*. 42, 1463-1471.
15. Carletti, P; Vendramin, E; Pizzeghello, D; Concheri, G; Zanella, A; Nardi, S; & A. Squartini, 2009. Soil humic compounds and microbial communities in six spruce forests as function of parent material, slope aspect and stand age, *Plant Soil*, 315, 47-65.
16. Carter, M. R.; Gregorich, E. G.; Angers, D. A.; Donald, R. G.; & M. A. Bolinder, 1998. Organic C and N Storage and Organic C Fractions in Adjacent Cultivated and Forested Soils of Eastern Canada, *Soil & Tillage Research*, 47, 253-261.
17. Cuneyt unver, M.; Kucuk, M.; Tufekcioglu, A.; & Y. Dogan, 2010. effect of different land use on soil respiration in winter, *Egyptian Journal of Experimental Biology (Botany)*, 6(1), 15-19.
18. Dearborn, K. D., & R. K. Danby., (2017). Aspect and slope influence plant community composition more than elevation across forest– tundra ecotones in subarctic Canada. *Journal of Vegetation Science*. 28, 595-604.
19. Dornbush, M. E., 2007. Grasses, litter and their interaction affect microbial biomass and soil enzyme activity, *Soil Biology and Biochemistry*, 39, 2241-2249.
20. Egli, M.; Mirabella, A.; Sartori, G.; Zanelli, R.; & S. Bischof, 2006. Effect of north and south exposure on weathering rates and clay mineral formation in Alpine soils, *Catena*, 67,155-174.
21. Fan, L. C.; Yang, M. Z.; & W. Y. Han, 2015. Soil Respiration under Different Land Uses in Eastern China. PLOS ONE. DOI:10.1371/journal.pone.0124.

22. Geisseler, D., & W. R. Horwath., (2009). Short-term dynamics of soil carbon microbial biomass and soil enzyme activities compared to long-term effects of tillage in irrigated row-crops. *Biology and Fertility of Soils*. 46, 65-72.
23. Gilliam, F. S.; Hédl, R.; Chudomelová, M.; McCulley, R. L.; & J. A. Nelson, 2014. Variation in vegetation and microbial linkages with slope aspect in amontane temperate hard wood forest, *Ecosphere*, 5, 1-17.
24. Haghighi, F.; Gorji, M.; & F. Shorafa, 2010. A study of the effects of land use changes on soil physical properties and organic matter, *land degradation & development*, 21, 496-502.
25. Hooper, D. U., & P. M. Vitousek., (1998). Effect of plant composition and diversity on nutrient cycling. *Ecological Monographs*. 68,121-149.
26. Huang, Y. M.; Liu, D.; & S. S. An, 2015. Effecf of slope aspect on soil nitrogen and microbial properties in the Chinese Loess region, *Catena*, 135-145.
27. Jenkinson, D. S., & J. N. Ladd., (1981). Microbial biomass in soil, measurement and turnover. *Soil Biology and Biochemistry*. 5, 415-471.
28. Khalili-Rad, M.; Nourbakhsh, F.; Jalalian, A.; & M. Karimian Eghbal, 2011. The Effects of Slope Position on Soil Biological Properties in an Eroded Toposequence, *Arid Land Research and Management*, 25, 308-312.
29. Khormali, F.; Ajami, M.; Ayoubi, S.; Srinivasarao, Ch.; & S. P. Wani, 2009. Role of deforestation and hillslope position on soil quality attributes of loess-derived soils in Golestan province. Iran, *Agricultural, Ecosystems and Environment*, 134, 178-189.
30. Lemenih, M.; Karltun, E.; & M. Olsson, 2005. Assessing soil chemical and physical property responses to deforestation and subsequent cultivation in smallholders farming system in Ethiopia, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 105, 373-386.
31. Liu, M.; Zheng, R.; Bai, S.; & J. Wang, 2017. Slope aspect influences arbuscular mycorrhizal fungus communities in arid ecosystems of the Daqingshan Mountains, Inner Mongolia, North China, *Mycorrhiza*, 27, 189-200.
32. Maleki, S.; Khormali, F.; Kiani, F.; & A. R. Karimi, 2013. Effect of slope position and aspect on some physical and chemical soil characteristics in a loess hillslope of Toshan area, Golestan Province, Iran, *Journal of Water and Soil Conservation*, 20, 94-112 (In Persian).
33. Martens, R., 1991. Methodenzur quanttitativen Bestimmung undcharakterisierungder mikrobiellen Biomasse in Boden. Eigenverlag des Institutes fur Bodenbiobgie der FAL Braunschweig.
34. Moges, A., & N. M. Holden., (2008). Soil fertility in relation to slope position and agricultural land use: a case study of Umbulo catchment in southern Ethopia. *Journal of Environmental Management*. 42, 753-763.
35. Nabiollahi, K.; Golmohamadi, F.; Taghizadeh-Mehrjardi, R.; Kerry, R.; & M. Davari, 2018. Assessing the effects of slope gradient and land use change on soil quality degradation through digital mapping of soil quality indices and soil loss rate, *Geoderma*, 318, 16-28.
36. Nahidan, S.; Nourbakhsh, F.; & M. R. Mosaddeghi, 2015. Variation of soil microbial biomass C and hydrolytic enzyme activities in a rangeland ecosystem: are slope aspect and position effective?, *Archives of Agronomy and Soil Science*, 61, 797-811.
37. Ollinger, S. V.; Smith, M. L.; Martin, M. E.; Hallett, R. A.; Goodale, C. L.; & J. D. Aber, 2002. Regional variation in foliar chemistry and N cycling among forests of divers history and compositions, *Ecology*, 83, 339-355.
38. Padiab, J.; Abbasi-Kalo, A.; & F. Keivan-Behju, 2020. Behavior of soil physical and chemical properties against forest land use change (case study: Khalkhal County, Ardabil Province), *Quarterly Journal of Environmental Erosion Research*, 36 (9:4), 17-34 (In Persian).
39. Qin, Y. Y.; Feng, Q.; Holden, N. M.; & J. J. Cao, 2016. Variation in soil organic carbon by slope aspect in the middle of the Qilian Mountains in the upper Heihe River Basin, China, *Catena*, 147, 308-314.

40. Reza, S. K.; Baruah, U.; Sarkar, D.; & D. P. Du, 2011. Influence of slope positions on soil fertility index, soil evaluation factor and microbial indice in acid soil of Humid Subtropical India, *Indian Journal of Soil Conservation*, 39, 44-49.
41. Royer-Tardif, S., Bradley, R.L., Pearce, D.A., Kowalchuk, G.A. 2010. Patterns of bacterial diversity across a rang of Antarctic terrestrial habitats. Environmental Microbiology. 42: 813-821.
42. Sariyildiz, T., Anderson, J., Kucuk, M. 2005. Effects of tree species and topography on soil chemistry, litter quality, and decomposition in Northeast Turkey. Soil Biology and Biochemistry. 37: 1695–1706.
43. Shukla, M.K., La, R.; & M. Ebinger, 2006. Determining Soil Quality Indicators by Factor Analysis, *Soil & Tillage Research*, 87, 194-204.
44. Sidari, M.; Ronzello, G.; Vecchio, G.; & A. Muscolo, 2008. Influence of slope aspects on soil chemical and biochemical properties in a Pinus laricio forest ecosystem of Aspromonte (Southern Italy), *European Journal of Soil Biology*, 44, 364-372.
45. Smith, J.; Halvorson, J. J.; & H. Jr. Bolton, 2002. Soil properties and microbial activity across a 500 m elevation gradient in a semi-arid environment, *Soil Biology and Biochemistry*, 43, 1749-1757.
46. Sui, X.; Zhang, R.; frey, B.; Yang, L.; Li, M. H.; & N. Hongwei, 2019. Land use change effects on diversity of soil bacterial, Acidobacterial and fungal communities in wetlands of the Sanjiang Plain, northeastern China. SCIENTIFIC REPORTS. 9:18535, 1-13.|https://doi.org/10.1038/s41598-019-55063-4.
47. Tatanah Nanganoa, L.; Nambangia Okolle, J.; Missi, V.; Roberto Tueche, J.; Dopgima Levai, L.; & J. Nkengafac Njukeng, 2019. Impact of Different Land-Use Systems on Soil Physicochemical Properties and Macrofauna Abundance in the Humid Tropics of Cameroon. Hindawi, Applied and Environmental Soil Science. /doi.org/10.1155/2019/5701278.
48. Tavakoli, M.; Raiesi, F.; & M. H. Salehi, 2008. Evaluation of selected soil quality indicators in almond orchard located on north and south-facing slopes in Saman region, Shahrek, *Journal of Agriculture and Natural Resources*, 15(1), 1-13.
49. Tshering Lepcha, N., & N. B. Devi., (2020). Effect of land use, season and soil depth on soil microbial biomass carbon of Eastern Himalayas, *Ecological processes*, 9, 65, 1- 14.
50. Tsui, C. C.; Chen, Z. S.; & C. F. Hsieh, 2004. Relationships between soil properties and slope position in a lowland rain forest of southern Taiwan, *Geoderma*, 123, 131-142.
51. Van Leeuwen, J. P.; Djukic, I.; Bloem, J.; Lehtinen, T.; & L. Hemerik, 2017. Effects of land use on soil microbial biomass, activity and community structure at different soil depths in Danube floodplain, *European Journal of Soil Biology*, 79, 14-20.
52. Wang, L.; Wang, Q.; Wei, S.; Shao, M. A.; & Y. Li, 2008. Soil desiccation for Loess soils on natural and regrown areas, *Forest Ecology and Management*, 255, 2467-2477.
53. Wu, S. J.; Deng, J. J.; Yin, Y.; Qin, S. J.; Zhu, W. X.; Zhou, Y. B.; Wang, B.; Ruan H.; & L. Jin, 2020. Bacterial Community Changes Associated with Land Use Type in the Forest Montane Region of Northeast China. Forests. 11, 40; doi:10.3390/f11010040.
54. Yimer, F.; Messing, I.; Ledin, S.; & A. Abdelkadir, 2008. Effect of different land use types on infiltration capacity in a catchment in the high lands of Ethopia, *Soil Use and Management*, 24, 344-349.
55. Zhang, G. H.; Liu, G. B.; & G. L. Wang, 2010. Effect of *Caragana korshinskii* Kom. Cover on run off, sediment yield and nitrogen loss, *International Journal of Sediment Research*, 25(3), 245- 257.

Assessment the effect of Slope aspect and position on some soil microbial indices in rangeland and forest

Ali-Ashraf Soltani Toularoud[1]: *Associate professor, Department of Soil Science and engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil*
Shokrollah Asghari: *Associate professor, Department of Soil Science and engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil*

Article History (Received: 2021/05/1 Accepted: 2021/05/29)

Extended abstract

1- Introduction

Topography is one of the effective factors in soil formation and development. Topographical features such as slope aspect and position, by affecting soil temperature, evaporation capacity, soil moisture content, soil organic matter, precipitation, movement, and accumulation of soil solution can impress soil microbial properties. For investigating the effect of land-use change on soil ecosystem functioning because of human activities, it is essential to study the soil processes in disparate land-use systems and to preserve and regenerate the capability of soil to deliver ecosystem services. This study aimed at evaluating the effect of slope aspect and position on soil microbial indices in rangeland and forest areas of Heyran neck.

2- Methodology

This experiment was accomplished as factorial on the basis of a randomized complete block design with three treatments containing land use (forest and rangeland), slope aspects (north and south), and three slope positions (shoulder, footslope, toeslope), and four repetitions in Heyran neck, one of the functions of Astara city in Guilan province. Totally, 48 disturbed soil samples were taken from forest and rangeland at two aspects and three slope positions. From soil biological indices, soil microbial population, soil basal, and substrate-induced respiration (BR and SIR), microbial biomass carbon (MBC), and microbial quotient (q_{mic}) were measured. Soil microbial population was determined by the most probable number method (MPN method). The basal soil respiration was determined by placing 50g of soil in glass jars together with 10mL 0.05N NaOH in 20mL glass vials. All samples were incubated for 24h at 25 ± 1 ^{o}C, and the CO_2 that evolved and was trapped during the period was determined by titration of the NaOH with 0.1N HCl. Substrate-induced respiration was determined by measuring the CO_2 production from 50gr fresh soil. The soil samples included 1% glucose, were first placed in a glass jar. Then, an absorption bottle that was filled with 25ml of 0.1N NaOH was carefully put in the glass jar, and the glass jar was precisely sealed. The jar was then incubated at 25 ± 1 ^{o}C for 6h. The evolved CO_2 was trapped by NaOH and determined by titration of NaOH with 0.1N HCL. Microbial biomass carbon was estimated by the chloroform fumigation and extraction method. Microbial quotient was calculated by dividing microbial biomass carbon (MBC) with soil organic carbon (SOC). Data's normality was assessed through Kolmogorov–Smirnov test. The analysis of variance and comparison of means by Duncan test and Pearson correlations were done using SPSS software. Figures were prepared using Excel software.

[1] **Corresponding Author: ali_soltani_t@yahoo.com**

3-Results & Discussion

The results showed that the content of all biological parameters measured in the forest soils was significantly higher than in the rangeland soils. In both land uses and in all slope positions, the highest values of basal soil and substrate-induced respiration, microbial population, and microbial biomass carbon were measured in the north-facing slope. In the studied land uses and slope aspects, all biological indicators except the microbial quotient had the highest value in the shoulder position. In the south-facing slope, the content of microbial quotient in the toeslope position was measured more than in other positions. Still, there was no significant difference from the value of this index in the shoulder position. The highest value of microbial quotient (1.95 $mgC_{mic}.g^{-1}C_{org}$) was observed in the north-facing slope on the shoulder, which was not significantly different from the value of this index in the footslope and toeslope positions of north-facing slope and also the shoulder and toeslope of south-facing slope. In forest land use, the content of microbial quotient in both north-facing (1.91 $mgC_{mic}.g^{-1}C_{org}$) and south-facing (1.9 $mgC_{mic}.g^{-1}C_{org}$) slopes was almost equal, which was significantly different from its value in both slope aspect of rangeland. The correlation between all biological indices at the level of one percent probability was positive and significant. There was the highest correlation between basal soil and substrate-induced respiration (r=0.94**) as well as microbial biomass carbon and substrate-induced respiration (r =0. 89**).

4- Conclusions

Overall, the results of this study showed that biological indices are dependent largely on landscape and land use, and by affecting the structure of the microbial community, these factors can affect the properties of the soil and its development. Due to the significant role of microorganisms as an integral component in the soil ecosystem and the effect of this component on the physical, chemical and nutritional properties of this ecosystem, by providing suitable conditions for the good activity of these organisms, soil quality can be increased, and thus erosion will be reduced.

Key Words: biological parameters, microbial respiration, microbial population, microbial biomas carbon, soil quality, Heyran neck**.**